

СПЕЦИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ В ЗАДАЧАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

BILL OF MATERIALS IN THE TASKS FOR INFORMATION SUPPORT OF PRODUCT LIFECYCLE PROCESSES

Ануфриев А.В., аспирант, Российский институт стандартизации, г. Москва

Бурый А.С., д-р техн. наук, Российский институт стандартизации, г. Москва

Anufriev A.V., graduate student, Russian Standardization Institute, Moscow

Buryi A.S., Doctor of Science in Technology, Russian Standardization Institute, Moscow

Статья посвящена анализу роли спецификации материалов (Bill of Materials, BOM) как ключевого информационного инструмента в системах поддержки жизненного цикла продукции в рамках концепции непрерывной информационной поддержки поставок и жизненного цикла (CALS) изделий.

Методы: концептуально-логическое моделирование, теоретико-графовый подход, формально-логическая разработка и обоснование структур построения интегрированных BOM.

Результаты: определено, что эффективное управление данными в составе спецификаций, интеграция функциональных вариантов BOM (инженерного, процессного, производственного) на этапах жизненного цикла изделий (ЖЦИ) основываются на обеспечении единого информационного пространства и напрямую влияют на эффективность информационного взаимодействия этапов ЖЦИ, качество спецификаций и применяемых при этом технологий.

Ключевые слова: жизненный цикл изделия, спецификация материалов, ориентированный ациклический граф, проектирование, производство, управление конфигурацией, интеграция, CALS-технологии.

Цитирование: Ануфриев А.В., Бурый А.С. Спецификация материалов в задачах информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 1(88). С. 4–10.

The article is devoted to the analysis of the role of the Bill of Materials (BOM) as a key information tool in product lifecycle support systems within the framework of the concept of continuous information supply and lifecycle support (CALS) of products.

Methods: conceptual-logical modeling, graph-theoretical approach, formal-logical development and substantiation of structures for the construction of integrated BOMs.

Results: it was determined that effective data management as part of the BOM, the integration of functional variants of X-BOM (Engineering, Process, Manufacturing) at the stages of the product lifecycle is based on providing a single information space and directly affects the effectiveness of information interaction between the stages of the product lifecycle, the quality of specifications and the technologies used.

Keywords: product lifecycle, Bill of Materials, directed acyclic graph, design, production, configuration management, integration, CALS technologies.

Citation: Anufriev A.V., Buryi A.S. Bill of Materials in the tasks for information support of product lifecycle processes. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026; 1(88): 4–10. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Идеи разработки интегрированных информационных систем (ИИС) и информационной интеграции этапов жизненного цикла изделий (ЖЦИ) стали базовыми в подходе, получившем название CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла)¹. Концепция CALS, зародившаяся как инициатива по компьютерной поддержке логистики, трансформировалась в целостную методологию управления информацией на всем протяжении ЖЦИ (продукции) [1, 2]. Ее целью является создание непрерывного, согласованного информационного потока, сопровождающего продукт от маркетингового замысла до утилизации. Технология управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management, PLM) предполагает формирование единого информационного пространства (ЕИП) [3, 4], обеспечивает интеграцию данных различных информационных систем организации для создания информационной поддержки ЖЦИ за счет: автоматизации ЖЦ (PLM); проектирования (CAD); анализа (CAE); подготовки производства (CAM), управления данными (PDM) [5] и других информационно-программных средств для бизнес-моделей и технологической поддержки участков производства [6].

В ИИС данные формируются, преобразуются, хранятся и передаются от одного участника ЖЦ к другому, обеспечивая непрерывность производственного процесса, минимизируя риски возникновения несоответствий на стыках этапов ЖЦИ. В условиях цифровой трансформации промышленности в рамках концепции Индустрии 4.0 [7] эффективность создания сложной наукоемкой продукции определяется качеством управления данными, применяемыми для бизнес-моделей, и самой информационной средой в рамках ЕИП [3].

В этом контексте спецификация материалов (Bill of Materials², BOM) трансформируется из простого перечня деталей в многоаспектный информационный объект, выступающий связующим звеном между различными этапами ЖЦИ и функциональными подразделениями предприятия. ЖЦ продукции представляет собой последовательность взаимосвязанных этапов, где каждый последующий этап неразрывно связан с предыдущим. Именно поэтому интеграция ЕИП в АСУ (ИПИ технологии) является основной стратегией повышения эффективности деятельности организации [4]. Информационные разрывы между этапами ЖЦИ ведут к значительным финансовым и временным потерям.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

ЕИП – единое информационное пространство
ЖЦИ – жизненный цикл изделия
ОАГ – ориентированный ациклический граф
BOM – bill-of-material, спецификация материалов
CAD – компьютерная поддержка проектирования
CAE – поддержка инженерных расчетов
CALS – технологии непрерывной информационной поддержки жизненного цикла продукции
CAM – компьютерная поддержка производства
ERP – планирование ресурсов предприятия
PDM – управление данными о продукции
PLM – управления жизненным циклом изделия

Цель исследования – анализ трансформации, функциональных возможностей и роли спецификации материалов как ключевого информационного инструмента в рамках методологии CALS и технологий управления жизненным циклом изделия.

1. Интеграция информационных систем в методологии CALS

На современном уровне развития промышленной кооперации отсутствие единого комплекса стандартов «электронного описания» различных этапов ЖЦИ, обеспечивающих взаимодействие информационных технологий (в рамках одного предприятия или «виртуального» объединения предприятий), приводит к значительным дополнительным издержкам в процессах проектирования, подготовки производства, изготовления и эксплуатации продукции. Путем применения CALS-технологий обеспечивается экономия времени и средств при одновременном повышении качества выпускаемой продукции. В организационном плане это сопровождается: сокращением времени проектирования (до 50%), планирования (до 70%), времени поиска и извлечения данных (до 30–40%), сокращением времени на изменения технической документации (до 30%) и др. факторами [8].

Основу методологии CALS составляют: комплекс единых информационных моделей, стандартизация способов доступа к информации и ее корректной интерпретации, обеспечение безопасности информации, юридические вопросы совместного использования информации (в том числе интеллектуальной собственности), применение на различных этапах ЖЦИ автоматизированных программных систем, отмеченных выше (CAD/CAM/CAE и др.), позволяющих производить и обмениваться информацией в формате CALS. Иногда термин CALS отождествляется с различными АСУ и компьютерными технологиями вообще. CALS, в отличие от интегрированных АСУ – ИАСУ и АСУ производством (АСУП), охватывает все стадии ЖЦИ (см.

¹ Давыдов А., Барабанов В., Судов Е. CALS-технологии: Основные направления развития. Режим доступа: <https://www.quality.eur.ru/MATERIALY2/calsrazv.htm> (Дата обращения: 7.01.2026).

² BOM – принятый зарубежный термин, см. ГОСТ Р ИСО 10303-44–2022 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 44.

рис. 1). Каждая из указанных АСУ может включать еще ряд технологических АСУ. Например, в ИАСУ могут входить АСУ гибкими производственными участками, АСУ транспортно-складской системой, АСУ инструментальным обеспечением и ряд других [9].

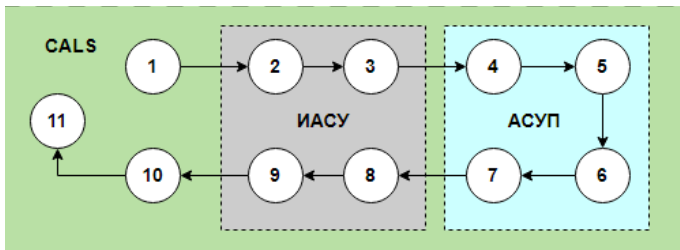


Рис. 1. Соответствие информационных систем стадиям ЖЦИ. Стадии ЖЦИ: 1 – Маркетинг и изучение рынка; 2 – Проектирование и разработка; 3 – Подготовка и разработка производственных процессов; 4 – Материально-техническое снабжение; 5 – Производство; 6 – Контроль, проведение испытаний и обследований; 7 – Упаковка и хранение; 8 – Реализация и распределение; 9 – Монтаж и эксплуатация; 10 – Техническая помощь в обслуживании; 11 – Утилизация после использования.

Предметом CALS являются технологии информационной интеграции, используемые совместно, т.е. в едином информационном пространстве. Подобная информационная интеграция базируется на информационных моделях (ИМ) изделия (продукта), ИМ ЖЦИ в целом и на ИМ производственной и эксплуатационной среды, учитывающих единые форматы данных, методы доступа и хранения данных в базах данных [8], а также методы и метрики, обеспечивающие качество данных на всех этапах их применения [10].

Задачей PLM-системы является передача информации о структуре изделия в ERP. Как правило, реализуется двусторонний обмен информацией: в ERP-систему передается информация о структуре изделия и составе материалов и покупных изделий, а обратно, в PLM-систему, передается информация о стоимости и себестоимости деталей и узлов и складских запасах [8, 9]. При этом необходимо обеспечить процесс синхронизации библиотек материалов, комплектующих и узлов и агрегатов между несколькими информационными системами. Для решения данной задачи существует класс программных продуктов, например MDM (Master Data Management) [11].

2. Трансформация спецификаций материалов на этапах ЖЦИ

Современная система PDM должна обеспечивать создание и поддержку множества взаимозависимых и взаимосвязанных спецификаций изделия (классические BOM, конструкторские, технологические, спецификации на покупные изделия, спецификации поставок и т.д.), благодаря чему пользователь получает согласованное представление об изделии на протяжении всего его жизненного цикла.

Современные наукоемкие изделия, например авиационная техника, автомобили, энергетическое оборудование, могут характеризоваться тысячами и десятками тысяч компонентов, множеством вариантов сборки и длительным циклом эксплуатации. Управление такой сложной номенклатурой компонентов невозможно без строго регламентированной иерархической структуры представления данных.

Таким образом, BOM в CALS – это структурированный набор данных, находящийся в PLM-системе, связанный с другими объектами, например

3D-моделями, чертежами, технологическими процессами, и имеющий строго определенные жизненные циклы и правила изменения. В зависимости от конкретного этапа ЖЦИ функция BOM может трансформироваться. Варианты трансформации спецификаций материалов обозначают как X-BOM или X-спецификации, привязывая их к определенным функциональным структурам ЖЦИ [12] (см. рис. 2):

1) EBOM (Engineering BOM – инженерный BOM), использующийся в процессе проектирования (CAD/PDM-системы). EBOM формируется на основании чертежа (либо CAD-модели) изделия. Его структура обычно организована по сборочным узлам и отражает то, как продукт спроектирован. Элементы EBOM связаны с файлами CAD-моделей и чертежей;

2) MBOM (Manufacturing BOM или производственный), использующийся на этапе технологической подготовки и производства изделия (ERP/MES-системы). MBOM пред-

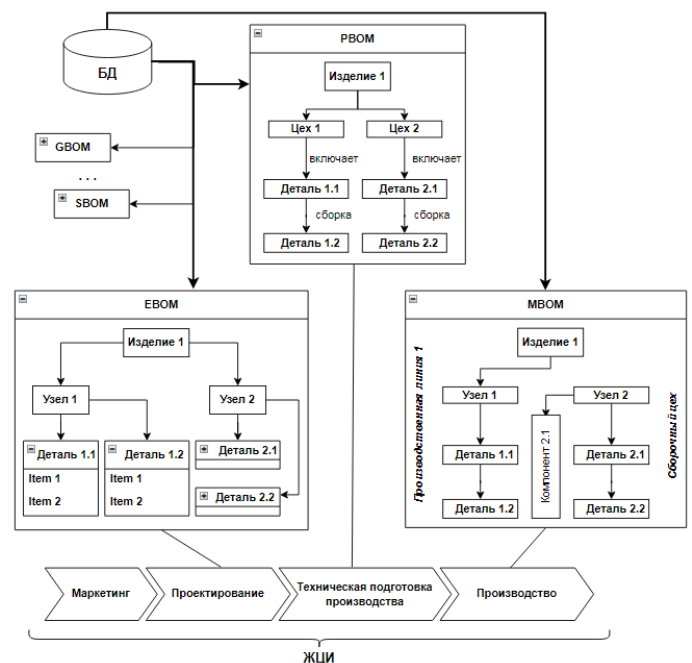


Рис. 2. Интеграция типовых спецификаций для этапов ЖЦИ

ставляет собой исчерпывающий перечень сырья, материалов (например, упаковочные материалы) и комплектующих изделия. Это наиболее комплексный и важный для материализации продукта вид. Структура MBOM может существенно отличаться от EBOM: он включает технологические узлы, оснастку, расходные материалы. MBOM может составлять основу для планирования потребности в материалах (MRP), управления цехами (MES) и расчета себестоимости;

3) SBOM (Sales BOM – коммерческий BOM), использующийся для этапов реализации (продажи) и продвижения (маркетинга) продукции. SBOM в первую очередь используется для проектирования единичных изделий, производство которых осуществляется по конкретным заказам. Часто представляет собой модель с вариантами и опциями, на основе которой генерируется конкретный EBOM/MBOM для заказа.

Производитель руководствуется строго определенным стандартом и не может отступать от него при выборе компонентов в спецификации материалов. Требование фиксированности спецификации гарантирует их неизменность на протяжении всего ЖЦИ, что критически важно для промышленного использования, где замена может привести к изменению характеристик устройства и потенциальным проблемам совместимости.

Однако с развитием CALS-технологий, номенклатура BOM расширяется, в работе [13] в качестве вариантов спецификаций (XBOM) представлены:

а) CBOM (Configurable BOM – настраиваемый BOM), использующийся в качестве описательного инструмента всех возможных исполнений продукции (CPQ-системы). CBOM не сконцентрирован на одном конкретном исполнении изделия, а направлен на описание всех вариантов разрабатываемого «семейства изделий» (продуктовой линейки);

б) GBOM, в отличие от предыдущего варианта, преследуют две цели: помощь в настройке новых вариантов и поддержку поиска аналогичных комплектующих деталей. Чтобы эффективно функционировать в качестве инструмента настройки, GBOM должен четко представлять наиболее распространенные формы продукта. Однако структурные различия в семействе продуктов не должны быть упущены из виду при формировании окончательной спецификации [14];

в) спецификация энергопотребления (EBOM), объединяющая информационные технологии с теорией экологически чистого производства.

Таким образом, BOM представляет собой не единую сущность, а набор взаимосвязанных информационных систем, каждая из которых направлена на поддержку ЖЦИ.

3. Формализация спецификаций материалов

С точки зрения моделирования BOM представляют собой графы и требуют возможностей, ориентированных на графы, функций и модулей для их эффективной обработки. Lokad значительно развил собственные возможности, нацеленные на подобные ситуации в цепочках поставок. Кроме того, с нашей точки зрения, оптимизация цепочки поставок при наличии BOM – это первый логический шаг к оптимизации многоступенчатой сети.

В то же время национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 10303-44-2022 определяет структуру данных в спецификации материалов (BOM) как ориентированный ациклический граф (ОАГ).

BOM в виде ОАГ можно определить как кортеж вида [14]:

$$G = \langle V, E, w \rangle, \quad (1)$$

где V – множество вершин графа, причем каждая вершина соответствует уникальному компоненту изделия; E – множество направленных ребер, связывающих вершину – источник (родитель) с «дочерней» вершиной, т.е. $e = (v_{parent} \rightarrow v_{child}) \in E$; $w: E \rightarrow N$ – весовая функция (нагрузка ребра). Каждому ребру сопоставлено $w(e)$, что указывает, сколько вершин v_{child} коммутируется с v_{parent} .

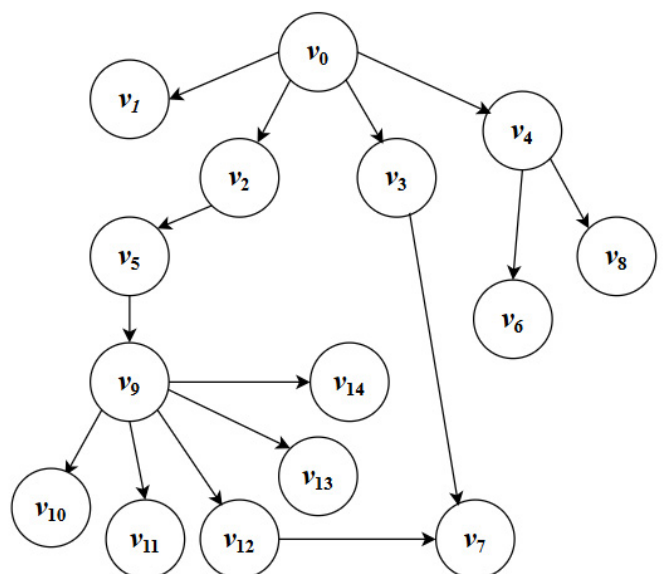


Рис. 3. Пример ориентированного ациклического графа

Компонентный состав (вершины) представлен в таблице.

Пример состава и связей спецификации к рис. 3

Вершина	Наименование вершины	Вершина – источник	Вершина – цель
v0	Светодиодная лампа E27	-	v1, v2, v3, v4
v1	Цоколь E27	v0	-
v2	Корпус	v0	v5
v3	Радиатор	v0	v7
v4	Рассеивающий колпак	v0	v6, v8
v5	Плата крепления	v2	v9
v6	Оптический силикон	v4	-
v7	Теплопроводящая паста	v3, v12	-
v8	Клей-герметик	v4	-
v9	Этап сборки	v5	v10, v11, v12, v13, v14
v10	Печатная плата	v9	-
v11	Драйвер	v9	-
v12	Светодиод	v9	v7
v13	Резистор	v9	-
v14	Конденсатор	v9	-

Для того чтобы сопоставить взаимосвязь спецификации с технологическими процессами, структурируем в виде математической модели взаимосвязи продукта, деталей и процесса сборки в виде следующих составляющих:

множество V (узел детали) как описание определенного узла детали в продукте, в основном включающее соответствующие атрибуты и идентификаторы детали в структуре продукта; графическое представление аналогично рис. 3, а в модели – это набор комплектующих (вершин), составляющих определенный продукт, вида:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}, \quad (2)$$

где n – общее число вершин в графе.

Это множество R , соответствующее сборочным связям между вершинами (1), которое может быть определено как [13]:

$$R = [f, c, q]; f, c \in V, q \in Y, \quad (3)$$

где показатель направленности при $q > 0$ есть прямые отношения «родитель – ребенок», для кратко-

сти: между вершиной f и вершиной c , т.е. ($f \rightarrow c$); при $q < 0$ между f и c также существует прямая связь «родитель – потомок» и c является родительским элементом для f , тогда показатель сборки равен $-q$; и $q = 0$, когда прямая связь «родитель – потомок» отсутствует; Y – множество исходов из элементов q .

Множество структур продукта – St (в общем случае в виде древовидной структуры), содержащих информацию и взаимосвязи всех вершин в структуре продукта на основе представлений (2) и (3):

$$St = \{V, R_{St}\}, \quad (4)$$

где множество связей $R_{St} = \{R_i [f_i, c_{ij}, q_{ij}]\}$ между вершинами условно обозначены как вершины $i, j = \overline{1, n}; f_i, c_{ij} \in V$; c_{ij} – дочерняя вершина по отношению к f_i .

При переходе в соответствии с представлением ХВОМ от этапа к этапу ЖЦИ элементы спецификации включаются в новые технологические цепочки, поэтому меняется состав связей и их структура. Для более компактного представления структуры соответствующих процессов (проектирования, сборки и т.д.) – обычно к композиции графов в виде гиперграфов [16] или метаграфов, что упрощает описание, сохраняя достоверность и целостность представления.

ВОМ выполняет роль системообразующего инструмента, поддерживающего принцип ЕИП. Через связи компонентов ВОМ с другими АСУ обеспечивается прослеживаемость, преемственность и целостность информации.

Внедрение PLM систем позволяет эффективно управлять ВОМ. Как правило, ЕВОМ, РВОМ, МВОМ управляются через PLM системы. Для формирования ВОМ должен использоваться единый источник информации – централизованная база данных (БД) организации (см. рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество подготовленной спецификации (ВОМ) служит основой для бесперебойного производства. Он используется для расчета себестоимости изделия, формирования заказов на компоненты, подготовки программ для автоматизированных рабочих мест, контрольного оборудования, а также для управления ЖЦИ в целом. Ошибка в ВОМ (неверный парт-номер, неучтенная замена) приводит к производственным простоям, выпуску бракованной продукции или закупке неподходящих компонентов.

Хорошо структурированная и эффективно управляемая спецификация материалов – основа успешного производства и управления жизненным циклом продукции. Эффективное управление спецификацией материалов – от точного создания и ведения спецификации до полной ин-

теграции с ERP, PLM и MRP-системами – способствует повышению качества продукции, контролю затрат и эффективности производства.

Здесь реализуется главный принцип CALS: информация, однажды возникшая на каком-либо этапе ЖЦ, сохраняется в ИИС и становится доступной всем участникам этого и других этапов (в соответствии с имеющимися у них правами пользования этой информацией). Качество управления WOM определяется точностью его формирования, структурированностью информации, своевременной актуализацией, а также глубиной интеграции с различными видами АСУ.

Дальнейшее развитие CALS-методологии в концепции Индустрии 4.0 строится в направлении трансформации WOM за счет как выявления новых свойств и технологий

комплектующих элементов, так и применения новых методов интеллектуального анализа данных, методов обработки данных, внедрения методов имитационного моделирования и прогнозирования для задач управления ЖЦИ, включая технологии цифровых двойников, киберфизических систем и др.

Таким образом, исследование и совершенствование методологии и инструментов работы со спецификацией материалов остается актуальной научно-практической задачей в области информационной поддержки жизненных циклов сложной технической продукции.

Проведенный анализ подтверждает, что Bill of Materials является неотъемлемой частью ЖЦИ. Его структура служит основой для управления конфигурацией, планирования и выпуска изделий, влияя на их качество и стоимость.

Список литературы / References

1. Гродзенский С.Я., Гродзенский Я.С., Калачева Е.А. CALS-технологии – ресурс повышения качества и конкурентоспособности наукоемкой продукции // Стандарты и качество. 2014. № 5. С. 90–93. / Grodzenskij S.Y., Grodzenskij Y.S., Kalacheva E.A. CALS-tekhnologii – resurs povysheniya kachestva i konkurentosposobnosti naukoemkoj produkcii. Standards and Quality. 2014, no. 5, pp. 90–93. (In Russ.).
2. Мусина Г.Р. Цифровое моделирование и мониторинг в CALS-управлении изделием // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 5 (86). С. 110–116 / Musina G.R. Cifrovoe modelirovanie i monitoring v CALS-upravlenii izdeliem. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2025, no. 5(86), pp. 110–116. (In Russ.).
3. Михайлов В.Г. О подходах к созданию интегрированной информационной системы PDM-ERP // Системный анализ и прикладная информатика. 2016. № 2. С. 17–24. / Mihajlov V.G. O podhodah k sozdaniyu integrirovannoj informacionnoj sistemy PDM-ERP. Sistemnyj analiz i prikladnaya informatika. 2016, no. 2, pp. 17–24. (In Russ.).
4. Горлевский К.И., Кукарцев А.В., Огурченко И.В. Алгоритм управления инновационными бизнес-процессами предприятия ракетно-космической промышленности // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2014. № 2(54). С. 158–164. / Gorlevskij K.I., Kukartsev A.V., Ogurchenok I.V. Algoritm upravleniya innovacionnymi biznes-processami predpriyatiya raketno-kosmicheskoy promyshlennosti. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva. 2014, no. 2(54), pp. 158–164. (In Russ.).
5. Мантуров Д.В., Калачанов В.Д., Статева Г.А. Организация производства на основе внедрения управления качеством с использованием CALS-технологий (на примере авиационного Ракетостроения) // Организатор производства. 2012. № 2(53). С. 90–94. / Manturov D.V., Kalachanov V.D., Stateva G.A. Organizaciya proizvodstva na osnove vnedreniya upravleniya kachestvom s ispol'zovaniem CALS-tekhnologij (na primere aviacionnogo Raketostroeniya). Organizator proizvodstva. 2012, no. 2(53), pp. 90–94. (In Russ.).
6. Morshedzadeh I., Ng A.H.C., Jeusfeld M. Managing manufacturing data and information in product lifecycle management systems considering changes and revisions. International Journal of Product Lifecycle Management. 2021; 13(3): 244–264.
7. Аронов И.З., Бурый А.С., Рыбакова А.М. Умная экономика замкнутого цикла: основа цифровых стратегий производственных компаний. Часть 1. Технологическая синергия индустрии 4.0 // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 4(68). С. 54–63. / Aronov I.Z., Buryi A.S., Rybakova A.M. Umnaya ekonomika zamknutogo cikla: osnova cifrovyyh strategij proizvodstvennyh kompanij. Part 1. Tekhnologicheskaya sinergiya industrii 4.0. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2022, no. 4(68), pp. 54–63. (In Russ.).
8. Доросинский Л.Г., Зверева О.М. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. – Ульяновск: Изд-во «Зебра», 2016. – 243 с. / Dorosinskij L.G., Zvereva O.M. Informacionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo cikla izdeliya. Ulyanovsk: "Zebra" Publ., 2016, 243 p. (In Russ.).

9. Погорелов В.И. Система и ее жизненный цикл: введение в CALS-технологии: учебное пособие. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2010. – 182 с. / Pogorelov V.I. Sistema i ee zhiznennyj cikl: vvedenie v CALS-tekhnologii: training manual. St. Petersburg: Baltic State Technical University Publ., 2010, 182 p. (In Russ.).
10. Бурый А.С., Погодин И.М. Оценка качества больших данных. Часть 1. Основные понятия и метрики // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 3(78). С. 49–58. / Buryi A.S., Pogodin I.M. Ocenka kachestva bol'shih dannyh. Part 1. Osnovnye ponyatiya i metriki. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024, no. 3(78), pp. 49–58. (In Russ.).
11. Лихачев М.В. Управление структурой изделия в PLM-системах // Решетневские чтения. 2014. Т. 2. С. 262–264. / Lihachev M.V. Upravlenie strukturoj izdeliya v PLM-sistemah. Reshetnevskie chteniya. 2014, vol. 2, pp. 262–264. (In Russ.).
12. Chen J., Wang G., Xue T., Li T. An improved polychromatic graphs-based BOM multi-view management and version control method for complex products. *Mathematical Biosciences and Engineering*. 2021; 18(1):712-726.
13. Chen J., Xiao Y., Wang G., Guo B. Research on the integrated management and mapping method of BOM multi-view for complex products. *Mathematical Biosciences and Engineering*. 2023;20(7):12682-12699.
14. Romanowski C.J., Nagi R. A data mining approach to forming generic bills of materials in support of variant design activities. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 2004;4(4):316-328.
15. Блюмин С.Л., Приньков А.С. Развитие матричного представления обобщенных графовых структур в задачах описания и анализа больших данных // *Computational Nanotechnology*. 2018. № 2. С. 9–15. / Blyumin S.L., Prinkov A.S. Development of a matrix representation of generalized graph structures in problems of big data description and analysis. *Computational Nanotechnology*. 2018; 2:9-15. (In Russ.).
16. Малышев Н.Г., Мицук Н.В. Основы оптимального управления процессами автоматизированного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с. / Malyshev N.G., Mitsuk N.V. Osnovy optimal'nogo upravleniya processami avtomatizirovannogo proektirovaniya. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1990, 224 p. (In Russ.).